

ратуры), объединённых в один узел, значительно растянуто во времени. Время роста температуры менее нагретых стержней от более нагретых через узловой элемент структуры сравнимо с пределом огнестойкости по несущей способности структурных конструкций [5].

На основании полученных результатов теплообмен внутри структурной конструкции можно не учитывать при нахождении температур стержней. Нагрев стержней и узлов при локальном пожаре с достаточной для технических расчётов точностью можно рассматривать только от конвекции и излучения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воздействия на конструкции: еврокод 1: ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250). – Часть 1–2: Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости. – Изд. офиц.; введ. впервые. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 40 с. – (Технический кодекс установившейся практики).

2. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с.
3. Проектирование стальных конструкций: еврокод 3: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250). – Часть 1–2: Общие правила определения огнестойкости. – Изд. офиц.; введ. впервые. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 67 с. – (Технический кодекс установившейся практики).
4. Дьяков, В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: практическое пособие / В.И. Дьяков. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 160 с.: ил.
5. Климушин, Н.Г. Противопожарная безопасность зданий из легких металлических конструкций / Н.Г. Климушин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 112 с.

Материал поступил в редакцию 02.03.15

#### DRAGAN V.I., GLUSHKO K.K. Modeling thermal interactions a core and knot of a structural design of system of BSTU in the conditions of the fire

The thermal interaction thermal interaction and rod node, the rods, united in a single unit, having different temperatures. Comparison of experimental and calculated data. The evaluation of thermal interaction node and rod elements in the local fire.

УДК 666.97.545

Тур В.В., Левчук Н.В., Замировский А.В.

### ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ХЛОРИД-ИОНОВ В БЕТОНАХ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ

Цементные материалы представляют собой капиллярно-пористое тело и при контакте его с жидкой фазой и растворенными в ней различными соединениями вследствие капиллярных сил и градиента концентраций происходят диффузионные процессы между внешней средой и внутренней структурой цементного материала. Фильтрация воды происходит по капиллярным порам цементного камня размером более 0,1 мкм, так как поры меньшего размера непроницаемы для воды даже при значительном градиенте давления. Известно, что содержание пор капиллярного размера в бетоне от общей пористости составляет около 60%, основная часть которых приходится на зону контакта цементного камня с поверхностью зерен заполнителя.

При введении в цементную систему поверхностно активных веществ (ПАВ) прежде всего гидрофильного характера вследствие их адсорбции на внутренней поверхности капилляров образуется слой, состоящий из двумерных структур, ориентированных к гидрофильной поверхности цементного камня. Модифицирующие бетон добавки и прежде всего ПАВ за счет хемосорбционного связывания ориентируются активными гидрофильными функциональными группами на поверхности цементного камня капилляров, а гидрофобные углеводородные радикалы обращаются в определенном порядке к воде. При этом коэффициент фильтрации, с одной стороны, со временем снижается вследствие набухания цементного камня, приводящего к уменьшению сечения капилляров. С другой стороны, вследствие образовавшегося мономолекулярного слоя ПАВ на поверхности капилляров снижают силу трения и молекулярного притяжения ионов в фильтрующей жидкости. Снижается и шероховатость внутренней поверхности капилляров цементного камня, что в свою очередь приведет к увеличению фильтрационной проницаемости. Кроме того, присутствие в жидкой фазе ионов агрессивных к цементному камню соединений со временем увеличивают его проницаемость. Таким образом, на скорость фильтрации и диффузионную проницаемость агрессивной среды влияет целый ряд факторов, что требует дальнейших экспериментальных исследований.

На сегодняшний день существует несколько методик исследова-

ния проницаемости цементных бетонов ионами хлора: методика EN 13396 [1], методика NT BUILD 443 (метод погружения) [2], методика NT BUILD 492 (ускоренный метод) [3,4], методика ГОСТ Р 52804-2007 [5]. При проведении собственных испытаний были позаимствованы положения методики ООО «Интел-Групп» и методики EN BUILD 492, с некоторыми изменениями и дополнениями.

Исследования диффузионной проницаемости цементного камня и бетона для ионов хлора при градиенте концентрации выполнялись на базе портландцемента Красносельского цементного завода марки ПЦ500-ДО (ГОСТ 10178-85, СЕМ-I-42,5-N). Его химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав портландцемента

NO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	CaO <sub>своб</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	п.п.п.
21,77	4,77	2,38	64,98	0,2	1,1	4,02	1,47

Минералогический состав портландцемента: C3S – 56...57%; C2S – 20...22%; C3A – 5%; C4AF – 16%.

Для проведения испытания были изготовлены образцы-стаканы квадратного сечения размером по наружным граням 100×100×100 мм и внутренним размером стакана 60×60×80 мм. Стакан имеет стенки дном толщиной 20 мм. С целью исключения ионов хлора и других ионов в начальной структуре материала затворение цементного теста и бетона производилось на дистиллированной воде. Твердение образцов в течение 28 суток происходило в воздушной среде со 100% влажностью без контакта с водой при нормальной температуре.

После 28-суточного твердения образцы устанавливались на керамическую решетку эксикатора (рис. 1). В стакан образца заливался раствор хлористого натрия (концентрация раствора NaCl равнялась 95,6 г/л, а концентрация раствора по иону хлора составляла 58,4 г/л), а в эксикатор заливалась дистиллированная вода, верхний уровень которой не доходил до верхнего обреза стакана на 10 мм. Таким образом, создавался градиент концентрации ионов хлора между наружной средой в эксикаторе (в начале опыта нулевая концентрация) и средой в стакане.

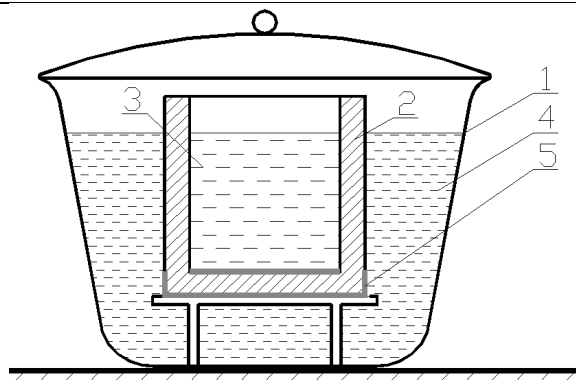
Тур Виктор Владимирович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологий бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Левчук Наталья Владимировна, к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Замировский А.В., студент строительного факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура



1 – эксикатор; 2 – исследуемый образец; 3 – 1N-раствор хлористого натрия; 4 – дистиллированная вода

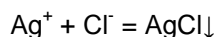
Рис. 1. Схема установки по исследованию диффузии ионов хлора в цементном материале

С целью исключения диффузии ионов хлора через дно стакана и направления диффузии только через вертикальные стенки стакана поверхность дна внутри и поверхность дна снаружи, а также на высоту толщины дна стакана наносилась гидроизоляция полимерным водонепроницаемым составом.

Процесс диффузии ионов хлора через материал стенки стакана в дистиллированную воду контролировался путем периодического отбора (через 28, 60, 90 и 180 суток) пробы раствора NaCl из стакана и пробы воды окружающей стакан воды из эксикатора с последующим химическим их анализом. После каждого отбора проб раствора хлористого натрия из стакана и дистиллированной воды из эксикатора они пополнялись на отобранный объем и концентрации, соответствующей результатам анализа по данным испытания.

По результатам химического анализа проб внутреннего и наружного растворов строится кривая изменения концентраций ионов хлора во времени.

Методика определения концентрации ионов хлора основана на реакции:



Исследуемую воду титруют раствором нитрата серебра в нейтральной или слабощелочной среде в присутствии хромата калия. После осаждения Cl-ионов избыток ионов образует оранжево-красный осадок  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ .

При количественном определении содержания хлоридов отбирают в две колбы по 100 см<sup>3</sup> исследуемой воды при содержании Cl-ионов не менее 100 мг/дм<sup>3</sup> или 10–20 см<sup>3</sup> при содержании Cl-ионов более 100 мг/дм<sup>3</sup>. В последнем случае доводят общий объем до 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. В колбу добавляют по 1 см<sup>3</sup> раствора  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  и титруют стандартным раствором  $\text{AgNO}_3$  до появления слабо-оранжевого оттенка раствора.

Содержание Cl-ионов (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{V(\text{AgNO}_3) \cdot T(\text{AgNO}_3 \setminus \text{Cl}^-) \cdot 1000}{V}, \quad (1)$$

где  $V(\text{AgNO}_3)$  – объем стандартного раствора нитрата серебра, пошедший на титрование, см<sup>3</sup>;

$T(\text{AgNO}_3 \setminus \text{Cl}^-)$  – масса Cl<sup>-</sup> соответствующая 1 см<sup>3</sup> раствора нитрата серебра;

$V$  – объем воды, взятой для анализа, см<sup>3</sup>.

Параллельно проведению химического анализа хлорид-ионов методом объемного титрования определение Cl<sup>-</sup> проводили при помощи прибора 848 Titrimo plus (рис. 2). Прибор Titrimo plus предназначен для повсеместного применения в объемном титровании при различных режимах:

Det – динамическое определение точки эквивалентности. Реагент добавляется постепенно в разных объемах;

Met – моментное титрование, для точки эквивалентности;

Set – титрование до конечной точки по одной или двум заданным конечным точкам.



Рис. 2. Прибор Titrimo Plus для проведения химического анализа содержания хлорид-ионов методом объемного титрования

Диффузионная проницаемость ионов хлора определялась в цементных материалах следующих составов:

**Состав I.** Цементный камень, полученный затворением портландцемента ПЦ500 Д0 дистиллированной водой с водоцементным отношением В/Ц = 0,29 (нормальная густота).

**Состав II.** Цементный камень, полученный затворением того же портландцемента дистиллированной водой с В/Ц = 0,29 и введением суперпластифицирующей добавки SiKA на основе модифицированных поликарбонатов в количестве 0,2% (на сухое вещество) от массы цемента. Добавка SiKA находилась в виде коричневой жидкости плотностью 1,075 г/см<sup>3</sup> (34%-ный раствор).

**Состав III.** Цементный камень, полученный затворением портландцемента дистиллированной водой (В/Ц = 0,29) с введением гиперпластифицирующей добавки FREYGIPER в количестве 0,2% (сухого вещества) от массы цемента. Добавка FREYGIPER находилась в виде темной жидкости с плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> (38%-ный раствор).

**Состав IV.** Бетон, полученный затворением портландцемента дистиллированной водой (В/Ц = 0,29) с последующим введением гранитного щебня фракции 5..10 мм в соотношении по объему – цементное тесто:щебень 1:1. Щебень для сохранения В/Ц теста был предварительно насыщен дистиллированной водой.

Результаты химического анализа проб по содержанию ионов хлора приведены в таблице 2.

Таблица 2. Концентрация ионов хлора в растворах

Номер состава материала	Концентрация ионов хлора (г-экв/л) в растворе			
	28 суток	60 суток	90 суток	180 суток
I	0,855/0,045	0,785/0,064	0,725/0,07	0,650/0,24
II	0,875/0,005	0,740/0,017	0,73/0,017	0,480/0,038
III	0,910/0,005	0,910/0,010	0,850/0,007	0,800/0,024
IV	0,930/0,002	0,840/0,008	0,780/0,002	0,770/0,140

Составы I, II, III и IV при испытании по ускоренной методике NT BUILD 492 были аналогичны составам образцов-стаканов при определении диффузионной проницаемости ионов хлора только при градиенте их концентрации.

Результаты исследования диффузионной проницаемости ионов хлора в цементных материалах по ускоренной методике в течение 24 часов (табл. 3) хорошо согласуются с аналогичными исследованиями по методике с выдерживанием образцов только при градиенте концентрации ионов хлора при испытании в течение 180 суток. Результаты исследования, как по первой, так и по второй методике, показали ускоренный перенос ионов хлора в составе IV вследствие наличия в них транзитного слоя между цементным камнем и поверхностью заполнителей.

**Таблица 3.** Концентрация ионов хлора в зависимости от времени хранения

Номер состава материала	Средняя глубина отбора проб (мм)	Концентрация ионов хлора в водной вытяжке из цементного камня (г-экв/л. 10-3) образцов, твердевших до испытания (сут):		
		28	60	90
I	11	8,75	6,00	5,7
	33	4,50	3,50	3,4
	55	3,00	2,75	2,6
II	11	4,50	4,15	4,1
	33	2,50	3,00	2,98
	55	2,00	2,25	2,17
III	11	2,75	3,00	2,97
	33	2,00	2,00	1,98
	55	1,50	3,80	3,17
IV	11	4,50	0,70	0,65
	33	2,50	0,60	0,53
	55	1,75	2,50	2,5

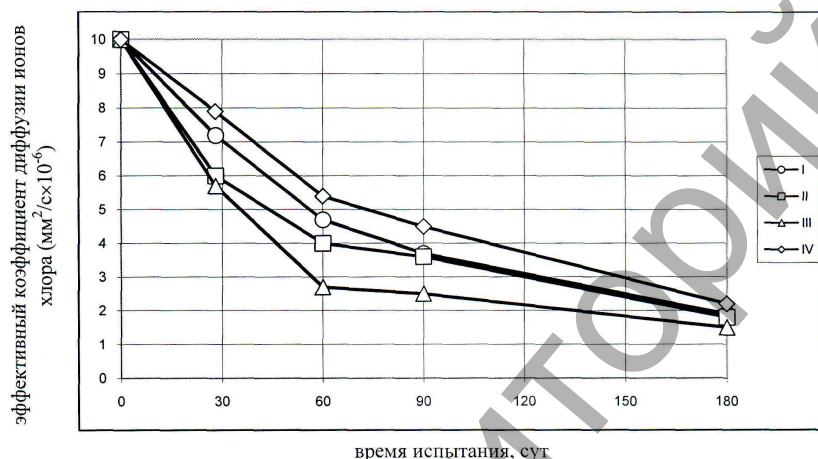
Анализируя данные испытания диффузионной проницаемости для ионов хлора можно сделать вывод о зависимости ее от состава цементных материалов. Так, в сравнении с контрольным составом (I), диффузионная проницаемость цементного камня с супер- и гиперпластифицирующими добавками (II и III) существенно ниже при

равном их водоцементном отношении. Пластифицирующие добавки не только снижают водопотребность цемента, но и характер пористости, а так же величину поверхностной энергии внутренних пор материала вследствие полярной структуры молекул высокомолекулярных органических соединений исследуемых добавок.

Необходимо отметить, что влияние пластификаторов на диффузионную проницаемость цементного камня проявляется в основном в ранние сроки его твердения (рис. 3). Диффузионная проницаемость для всех исследуемых составов материала практически одинакова при испытании образцов после 180 суток их твердения.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Test methods. Part I. Measurement of chloride ion ingress by Diffusion of repair mortars and concretes: EN 13396-1:2002.
2. Resistance of Concrete to Chloride Ingress – From Laboratory Tests to In-field Performance.– Report, project № GRD1-202-71808-CHLOTEST. – January 2003 – December 2005. – 273 p.
3. Concrete, Hardened, Accelerated Chloride Penetration: NT BUILD 492:94.
4. Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiments: NT BUILD 492:99.
5. Способ определения диффузионной проницаемости бетона / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, Д.Ю. Федоров. – 10.02.2006. Патент РФ №2269777.



**Рис. 3.** Зависимость эффективного коэффициента диффузии ионов хлора через цементные материалы составов I, II, III и IV

Материал поступил в редакцию 14.04.14

**TUR V.V., LEVCHUK N.V., ZAMIROVSKY A.V.** Researches of Concrete permeability of chloride ions of various structures

The article describes comical processes was penetrated chloride-ions across structure cement. Results of analyses definition chloride- ions difference methods.

УДК 69 + 624.151.5:561.5

**Клебанюк Д.Н., Пойта П.С., Шведовский П.В.**

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ОСНОВАНИЙ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СО СЛОЖНЫМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

**Введение.** Опыт проектирования строительства искусственных оснований зданий и сооружений методами интенсивного ударного уплотнения показывает, что повышение экономичности принятых решений, снижение трудоёмкости при их устройстве может быть

достигнуто за счёт совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Правильно запроектированные конструктивно-технологические параметры позволяют получить качественное основание при мини-

**Клебанюк Дмитрий Николаевич**, ассистент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

**Пойта Петр Степанович**, д.т.н., профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций, ректор Брестского государственного технического университета.

**Шведовский Петр Владимирович**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура